

## ВВЕДЕНИЕ

Высокопористые строительные материалы относят к трем широким группам: теплоизоляционно-конструкционным, теплоизоляционным и акустическим материалам. Независимо от группы высокая пористость обеспечивает изменение условий передачи энергии в материале. Эти условия обусловлены типом пористости (открытой, замкнутой, комбинированной), характером распределения пор по размерам, размерами и формой этих пор, состоянием внутренней поверхности пор, рядом других факторов [3].

В отечественном производстве наибольшее распространение получили теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные высокопористые материалы [4]. По типу матрицы, а следовательно, и по характеру пористости, материалы подразделяют на волокнистые, ячеистые, зернистые и комбинированной структуры. Материалы зернистой структуры практически не выпускаются промышленностью [12]. Вместе с тем высокие теплофизические свойства таких материалов (на основе вспученного перлита, например) делают целесообразным их рассмотрение наравне с материалами других структур [5].

Для всех рассматриваемых материалов условием, обосновывающим их существование, является энергетическая эффективность, т. е. направленность на экономию энергии, сокращение вредных выбросов и повышение комфортности среды обитания. Высокопористые материалы должны соответствовать критериям экологического стандарта Eco Material, который состоит из трех разделов. В первом разделе стандарта оценивается, насколько материал безопасен для человека. Проводятся радиологические, электромагнитные, химические, токсикологические измерения и лабораторные исследования. Второй раздел оценивает комплексное воздействие материала и его производства на окружающую среду. В третьем разделе содержатся критерии по пропаганде «зеленых» решений и тенденций, поддержке социальных экопроектов и т. д. Существует несколько уровней стандарта: EcoMaterial Basis — материал безопасен для человека; EcoMaterial Green — материал безопасен для человека и окружающей среды; EcoMaterial Absolut — экологически чистый материал; EcoMaterial Natural — абсолютно натуральный материал.

Структура, и следовательно, свойства высокопористых материалов формируются на стадии производства, и большинство технологий является энергоемкими. Ключевым технологическим переделом является тепловая обработка. Особенности создания высокопористой структуры таковы, что в боль-

шинстве технологий формованный сырец подвергают сушке — в чистом виде или осложненной сопутствующими процессами (отверждением связующего, тепловлажностным воздействием и пр.).

Проектные режимы сушки теплоизоляционных изделий эффективны, если обеспечено постоянство управления всем технологическим процессом на всех предшествующих сушке операциях [7]. Непостоянство фракционного состава рабочих смесей и соотношений между компонентами, свойств и количества связующего, условий формования может привести к резкому снижению характеристик изделий после сушки. Грамотная организация процесса сушки позволяет получить материал с требуемыми свойствами, снизить энергетические затраты на этот процесс, оптимизировать длительность сушки, уменьшить и материальные затраты.

Отметим, что свойства высокопористых материалов в наибольшей степени проявляются в специальных строительных системах, формирующих оболочку здания [2]. Долговечность подобных систем обуславливается как эксплуатационной стойкостью самих высокопористых материалов, так и условиями их работы в конструкциях: правильностью проектирования самих конструкций и корректностью выполненного монтажа этих систем.

Для того чтобы прогнозировать энергетическую эффективность высокопористых материалов, их эксплуатационные свойства и соответствие экологическим критериям, необходимо изучение закономерностей формирования их пористости и изучение особенностей теплопередачи в высокопористых материалах, которое можно провести на примере теплоизоляционных материалов различной структуры. Оптимизационные решения для материалов волокнистой структуры были рассмотрены в работах, изданных ранее [17; 20; 21]. Основной акцент исследований сделан на рассмотрение технологий (ТИМ), получение которых основано на способах удаления порообразователя и формирования неплотной упаковки, а также на анализ особенностей поведения теплоизоляционных изделий в строительных конструкциях.

Изучение процессов переноса вещества и энергии в высокопористых, в частности в теплоизоляционных материалах, является комплексной задачей. В практическом плане при решении этой задачи можно использовать две подсистемы: тепло- и массоперенос в теплоизоляционном материале, расположенном в строительной конструкции теплоизоляционных материалов, и тепло- и массоперенос в материале в процессе его тепловой обработки. В первой подсистеме процессы происходят в интервалах влажностей, близких к равновесным и характерным для материалов в условиях эксплуатации. Во второй подсистеме тепло- и массопереноса процессы начинаются при влажностях, во много раз превосходящих равновесные, эти процессы осложнены фазовыми переходами и химическими превращениями в матрице.

# 1. ВЫСОКОПОРИСТЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## 1.1. Производство теплоизоляционных материалов

### 1.1.1. Теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционные материалы (ТИМ) и теплоизоляционные изделия классифицируют по следующим основным признакам (ГОСТ 16381–77):

- *по виду исходного сырья*: неорганические, органические. Смеси из неорганических и органических материалов относят к неорганическим, если количество неорганических материалов в смеси превышает 50 % по массе;

- *по структуре*: волокнистые, зернистые, ячеистые;

- *по форме и внешнему виду*: штучные, рулонные и шнуровые, рыхлые и сыпучие;

- *по содержанию связующего вещества*: материалы и изделия, содержащие связующее вещество и не содержащие связующее вещество;

- *по плотности* ( $\text{кг/м}^3$ ): марки 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 450 и 500 (табл.1). Для изоляции объектов с отрицательными температурами применяют материалы плотностью не более  $200 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью не более  $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;

- *по жесткости* — остаточной деформации сжатия: мягкие (М) — относительное сжатие более 30 %; полужесткие (П) — относительное сжатие 6—30 %; жесткие (Ж) — относительное сжатие до 6 % при удельной нагрузке  $1,96 \text{ кН/м}^2$ ;

- *по теплопроводности* при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ : класс А — низкой теплопроводности — до  $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; класс Б — средней теплопроводности — свыше  $0,06$  до  $0,115 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; класс В — повышенной теплопроводности — свыше  $0,115$  до  $175 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;

- *по горючести*: негорючие (НГ); слабогорючие (Г1); умеренно горючие (Г2); горючие (Г3); опасногорючие (Г4).

Современные теплоизоляционные изделия характеризуются показателями качества, изложенными в стандарте EN 13162. Данный стандарт действует в Европе и относится ко всем теплоизоляционным изделиям из минеральной ваты. Стандарт EN 13162 определяет шесть важнейших свойств, которые

## Классификация теплоизоляционных материалов по плотности

Наименование ТИМ	Марка	Материал
Особо низкой плотности	15, 25, 35, 50, 75	Минеральная вата марки 75 и менее; каолиновое волокно; пенопоропласты; ультра- и супертонкое стекловолокно; базальтовое волокно; вспученный перлит, мягкие минераловатные и стекловолоконистые плиты и др.
Низкой плотности	100, 125, 150, 175	Минеральная вата марки более 75; стеклянная вата из непрерывного стекловолокна; полужесткие и жесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем; прошивные минераловатные маты и др.
Средней плотности	200, 225, 250, 300, 350	Совелитовые, вулканитовые, известково-кремнеземистые, перлитцементные изделия; минераловатные плиты на битумном связующем; минераловатные шнуры и др.
Плотные	400, 450, 500, 600	Пенодиатомитовые, диатомитовые, трепельные изделия из ячеистого бетона; монолитный битумоперлит и др.

должны декларироваться производителями теплоизоляционных материалов вне зависимости от того, в какой конструкции применяется данный материал. Эти свойства: *теплопроводность, геометрические размеры, прямоугольность и плоскостность, стабильность размеров, прочность на растяжение, пожаробезопасность*. Пожаротехнические характеристики продукции должны обеспечивать безопасность на конкретном объекте, в конкретной конструкции.

Распределение объемов выпуска ТИМ по стране характеризуется значительной неравномерностью. Ряд крупных регионов, таких как Архангельская, Калужская, Костромская, Орловская, Кировская, Астраханская, Пензенская, Курганская и другие области, Республика Марий Эл, Чувашская республика, Калмыкия, Адыгея, Карелия, Бурятия и другие, не имеют крупных производств эффективных ТИМ. Многие регионы страны производят утеплители в явно недостаточном количестве. Относительно благополучным является Северо-Западный регион, а наибольшие проблемы с утеплителями собственного производства в Северном, Поволжском, Северо-Кавказском и Западно-Сибирском регионах.

В Российской Федерации за последнее десятилетие фактически создано заново производство самых современных видов теплоизоляционных материалов на основе минеральных волокон (каменной и стеклянной ваты, базальтового волокна), а также на основе вспененных пластмасс (табл. 2).

В период 2005—2008 гг. в РФ были открыты десятки мощных производств и средних производств (табл. 2) [5; 22]. Российский рынок теплоизоляционных материалов характеризовался как стабильно растущий. Темпы прироста составляли от 10—15 % в год. К 2008 г. объем российского рынка составлял

## Введение новых производств теплоизоляционных материалов (2005—2013 гг.)

Производитель	Торговая марка	Город и год введения
GRUPPO URALITA	URSA	Серпухов, Московская обл., 2005
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС	Пермь, 2005
Компания «Экстрол»	ЭКСПОЛ	Екатеринбург, 2005
«Сен-Габен Строительная продукция Рус»	ISOVER	Егорьевск, Московская обл., 2006
ОАО «Тизол»	EUROTIZOL	Свердловская обл., 2006
ЗАО «Изорок»	ISOROC	Тамбовская обл., 2006
ЗАО «Завод «Минплита»	LINEROCK	Челябинская обл., 2006
ЗАО «Дмитровская теплоизоляция»	—	Московская обл., 2006
ООО «Изомин»	ИЗОМИН	Ступино, Московская обл., 2006
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС	Новосибирск, 2006
ОАО «Белгородский комбинат теплоизоляционных материалов»	ИЗОВОЛ	Белгородская обл., 2006
ГК «ТехноНИКОЛЬ», завод «Техно»	ТЕХНО	Рязанская обл., 2006
ОАО «Термостепс»	ТЕРМО	Салават, Республика Башкортостан, 2007
ГК «ТехноНИКОЛЬ»	ЭПС Техно- НИКОЛЬ	Рязанская обл., 2007
ОАО «Ульяновский завод теплоизоляционных изделий»	ЕВРОИЗОЛ	Ульяновская обл., 2007
ЗАО «Завод «Минплита»	LINEROCK	Новосибирская обл., 2007
ГК «ТехноНИКОЛЬ», завод «Техно»	ТЕХНО	Рязанская обл., 2007
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС	Таганрог, Ростовская обл., 2007
Компания «Rockwool»	ROCKWOOL	Выборг, Ленинградская обл., 2007
КНАУФ	«Кнауф Инсу- лейшн»	Ступино, Московская обл., 2007
ДАУ ЮРОП	STYROFOAM	Крюково, Московская обл., 2007
ДАУ ИЗОЛАН	ИЗОЛАН	Владимир, 2008
ГК «ТехноНИКОЛЬ», ТЗМП	ТЕХНО	Троицк, Московская обл., 2009

Производитель	Торговая марка	Город и год введения
«Эковер»	«Эковер»	Свердловская обл., 2010
ООО «Агидель»	Baswool	Башкирия, 2011
ООО «Базальт»	Hitrock	Смоленская обл., 2011
Компания «Rockwool»	ROCKWOOL	Елабуга, Татарстан, 2012
ГК «ТехноНИКОЛЬ»	ЭПС КАРБОН	Рязанская обл., 20013
«Paroc Group»	ИЗОПЛИТ	пгт. Изоплит, Тверская обл., 2013

Таблица 3

**Производители минераловатных изделий**

Федеральный округ	Производители
Центральный	ЗАО «Минеральная вата» (РОКВУЛ), ООО «Завод Техно», ЗАО «Изорок», Завод нестандартного оборудования (Izovol, Izobel), ООО «Изомин», ООО «Базальт-Мост», ЗАО «Дмитровская теплоизоляция» (Экобазальт), ООО «Луховицкая базальтовая вата», ООО «НПФ «Изомат», ООО «Базальт» (HITROCK), ООО «Базальт-Экология», ОАО «Фирма Энергозащита», Завод минераловатных изделий
Уральский	ЗАО «Завод Минплита» (Linerock), ОАО «АКСИ» (ТехноНИКОЛЬ), ООО «ЧЗТИ», ОАО «Гизол», ЗАО «Троицкий ЗМП» (РОКВУЛ-Урал), ЗАО «Нижнетагильский ЗТИ», ОАО «Билимбаевский ЗТМ», «Эковер»
Приволжский	ООО «Техно», «Термостепс-МТЛ» (Terplant), ОАО «Стройизоляция», ООО «Евроизол-Термо», ГК «Электрощит-ТМ Самара», ОАО «Комбинат теплоизоляционных изделий», ООО «Агидель» (BASWOOL), ЗАО «Базальтовое волокно», «Мелеузовский кирпичный завод», «Алабуга «Роквул-Татарстан»
Сибирский	«ТехноНИКОЛЬ-Сибирь», ОАО «Назаровский ЗТИ» (ГК «Энергозащита»), «Норильский обеспечивающий комплекс», ЗАО «КЗМИ «Минвата», ООО «ТД «БАТИЗ»
Северо-Западный	ООО «РОКВУЛ-Север», ОАО «НПО Стеклопластик», ПТК «Судогда» (Термобазальт), ООО «Строительные материалы (Изотек)», ООО «Лотос»
Дальневосточный	ОАО «Базалит-ДВ» (ТехноНИКОЛЬ), ООО «Завод базальтовых материалов», Благовещенский завод «Минпласт»
Южный	ООО «Термостепс», ОАО «Конструкционные материалы»

25,8 млн м<sup>3</sup> в год, причем этот объем полностью «закрывался» отечественными производителями (28,5 млн м<sup>3</sup> в год).

Экономический кризис, а также ужесточение норм пожарной безопасности, применяемых к ТИМ, внесли коррективы в структуру их производства в нашей стране. По статистике на долю волокнистой теплоизоляции приходится 78 %, доля полистирольных пенопластов составляет 17 %, пенополиуретанов — 3 %. Высокопористые ячеистые бетоны этой статистикой не учитываются, так как являются более теплоизоляционно-конструкционными, чем теплоизоляционными материалами.

Производство минеральных волокнистых материалов сосредоточено в основном в ЦФО — около 57,2 %, СЗФО (12,9 %), УФО (14,9 %) и ПФО (10 %). Небольшие производства имеются в ЮФО, СФО и ДФО (табл. 3). Почти 91 % производства теплоизоляционных изделий из пенопластов сосредоточено в Европейской части России и в Сибири, причем доля ЦФО составляет 46,5 %, СФО — 43,3 %. В СЗФО выпускается всего 1 %, в ЮФО — 8,2 %. Доля ДФО и того меньше — 0,9 %; в Приволжском федеральном округе отсутствуют производства по выпуску теплоизоляционных материалов из пенопластов.

### 1.1.2. Производство волокнистых теплоизоляционных материалов

Основой промышленности теплоизоляционных материалов является производство теплоизоляционных изделий из минеральной ваты (рис. 1): каменной и стеклянной ваты и базальтового волокна — в небольших объемах. Значительное внимание уделяется созданию волокнистых материалов, имеющих высокий уровень экологической безопасности и улучшенные эксплуатационные показатели [9; 23].

Анализ применяемых в отечественной и зарубежной практике *сырьевых материалов* показывает, что наиболее качественную, долговечную минеральную вату, соответствующую мировому уровню, можно получать из шихт на основе горных пород габбро-базальтового типа с небольшой добавкой карбонатных пород (известняков или доломитов) при доведении их модуля кислотности до 1,7—2,5. Использование этого сырья дает возможность получать минеральное волокно и изделия на его основе, обладающие повышенными эксплуатационными свойствами (химически- и водостойкие, температуростойкие), с высокими физико-механическими и теплотехническими показателями [18; 24]. Переход на производство минеральной ваты из горных пород габбро-базальтовой группы, а не из доменных шлаков, позволит существенно увеличить срок эксплуатации утеплителей из минеральной ваты, повысить их температуру- и водостойкость.

В России насчитываются семь заводов, выпускающих *стеклянную вату*. Объемы производства ТИМ из стекловолокна на территории страны значительно выросли после запуска предприятий, принадлежащих иностранным

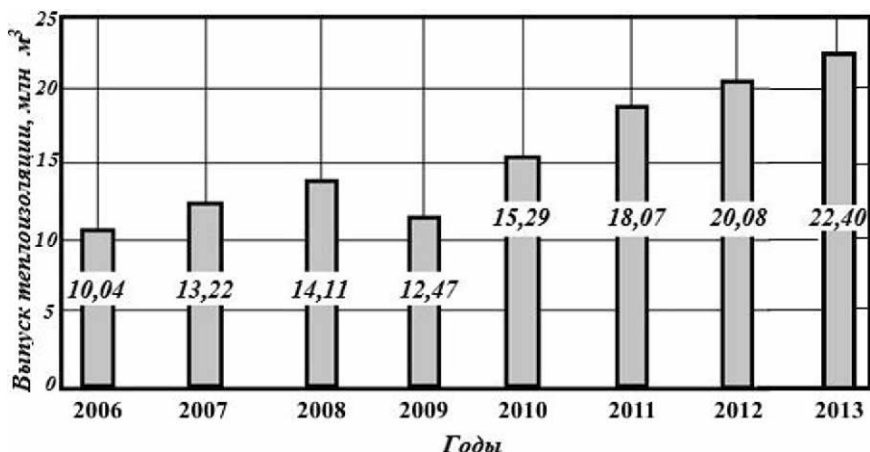


Рис. 1. Производство теплоизоляционных изделий из минеральной ваты в РФ

компаниям. Три крупнейших производителя этого сегмента рынка — концерн «Uralita Group», «Сен-Габен Строительная продукция Рус» и «Кнауф Инсулейшн» выпускают около 70 % от общего объема производства ТИМ на основе стекловолокна [26]. Продукция других относительно небольших производств ограничивается товарным стекловолокном, прошивными матами или матами на синтетическом связующем.

Между официальной статистикой производства ТИМ, в том числе минеральной ваты, и реальными объемами ее производства имеет место разница, обусловленная наличием большого числа небольших компаний, не отраженных в официальных документах. Если в 2005 г. эта разница составляла 600 тыс. м<sup>3</sup> (8000 против 7400 тыс. м<sup>3</sup>), то 2011 г. — уже 5100 тыс. м<sup>3</sup> (18100 против 13000 тыс. м<sup>3</sup>).

Некоторые из этих компаний растут, предпринимают более активные маркетинговые усилия на рынке, что делает возможным их обнаружение «в ручном режиме». Всего в РФ (по различным подсчетам) работают 40—50 заводов различного масштаба (табл. 3).

Уже в разгар кризиса стало понятно, что не всем предприятиям удастся его пережить. Основной объем банкротства пришелся на 2009—2010 гг., но закрытия наблюдались и в 2011 г.

Самая крупная потеря — холдинг «Термостепс». В результате его банкротства встали Екатеринбургский, Ярославский, Омский, Салаватский заводы. Держится только Волгоградский завод. Еще одна компания (Термостепс-МТЛ), входившая в холдинг, успела сменить собственника (октябрь 2008 г.) и начала самостоятельную карьеру в производстве сэндвич-панелей.

В 2009 г. процедуру банкротства пережило ООО «Теплоизоляция», оставив в Белгородской области одного, но крупного производителя — «Завод



нестандартного оборудования» (Izovol). По всей видимости, потеряла своих производителей Нижегородская обл. В 2009 г. остановилось производство заводов группы «Тивул» («Тивул-Арзамас» и «Тивул-Кстово»), а в 2010 г. прекратило производство ОАО «Теплоизол».

В 2010 г. прекратили производство «Воронежский завод строительных материалов» (сохранилось производство силикатного кирпича), новосибирский ЗАО «Термиз», ставропольский «Ойлтехнострой» («Базиз»). В 2011 г. остановилось производство на заводе «Изоплит» в Тверской обл. (входил в «Термостепс») и на «Новомальтинском ЗСМ» (Иркутская обл.).

В 2009—2011 гг. имела место смена собственников с российских на иностранные. В 2008 г. ОАО «Термостепс-МТЛ» перешло в инвестиционный фонд Baring Vostok Capital Partners (Tabelion Limited). В 2010 г. Троицкий завод минераловатных плит перешел от компании Linerock в собственность «RockwoolRussia», а сама компания Linerock в 2011 г. стала собственностью концерна Saint-Gobain.

Крупные компании вполне справились с кризисной ситуацией. Спад носил ограниченный характер, а на производстве некоторых компаний в 2010 г. наблюдался положительный рост. Если в 2007 г. на первую тройку компаний приходилось 47 % от общего объема производства, то в 2010 г. — почти 60 %. Самое яркое событие — открытие завода РОКВУЛ в СЭЗ Алабуга (февраль 2012 г., 140 тыс. т/год). Открыты: предприятие «Эковер» (Свердловская обл., 2010 г.); ООО «Агидель» (Baswool), Башкирия (2011 г.); ООО «Базальт» (Hitrock), Смоленская обл. (2011 г.), Завод базальтовых материалов (Якутия).

### **1.1.3. Производство ячеистых теплоизоляционных материалов**

К ячеистым ТИМ относят теплоизоляционные пластмассы, вспученный перлит, пеностекло и его аналоги, теплоизоляционные ячеистые бетоны.

**Теплоизоляционные пластмассы.** Широко используются в строительстве и промышленности для снижения теплопотерь через ограждающие конструкции зданий, сооружений, оборудования и теплопроводов. Это высокопористые газонаполненные материалы, получаемые различными способами из синтетических смол либо из материалов, изготовленных с применением синтетических смол. Большинство пластмасс относится к группе опаснгорючих материалов.

*Пенопласты на основе полистирола (пенополистирол)* изготовляют прессовым способом (ПС), беспрессовым способом (ПСБ), экструзионным способом, а также литьем под давлением. Экструдированные пенополистиролы имеют закрытую пористую структуру с размером пор 0,1—0,2 мм и практически не имеют пустот, способных поглощать влагу. Материалы в связи с этим мало гигроскопичны, у них низкая теплопроводность и высокая прочность при сжатии. Эти материалы хорошо воспринимают динамические нагрузки, их можно применять в экстремальных влажностных условиях.

*Пенопласты на основе полиуретанов (пенополиуретаны)* получают в результате сложных реакций, протекающих при смешивании полиэфира, диизоцианата или полиизоцианата, вспенивающего агента в присутствии катализатора, эмульгатора и добавок. Изменяя состав смеси, можно получать пенополиуретаны с различными свойствами.

*Пенопласты на основе фенолоформальдегидных смол* отличаются повышенной тепло- и огнестойкостью по сравнению с остальными. В основном относятся к группе трудногораемых материалов, являются химически стойкими материалами. Пенопласты на основе фенолоформальдегидных смол изготавливают беспрессовым способом и способом заливки.

*Карбамидные пенопласты* — трудногорючий полимерный пористый материал с открыто-ячеистой структурой, получаемой воздушным вспениванием композиции на основе карбамидоформальдегидной смолы. Карбамидные пенопласты — это безнапорные пены, которыми можно заполнять большие открытые полости при неограниченном времени заливки, а также длинные замкнутые по периметру каналы.

Эластичные утеплители *из вспененного синтетического каучука и пенополиэтилена* используют для теплоизоляции труб, инженерных коммуникаций жилых и производственных зданий.

Мировой объем выпуска **вспученного перлита** составляет 20 млн м<sup>3</sup> в год. Наиболее крупным производителем вспученного перлита и продукции из него являются США, где производится около 7 млн м<sup>3</sup> в год этого продукта. Основная его часть (70 %) используется в строительстве в качестве жесткоформованных теплоизоляционных изделий и сухих штукатурных смесей. Россия, не имея качественного отечественного сырья, выпускает перлитосодержащие изделия в объемах, не превышающих 300 тыс. м<sup>3</sup> вспученного перлита в год.

**Пеностекло (вспененное стекло, ячеистое стекло).** Теплоизоляционный материал с плотностью от 120 до 200 кг/м<sup>3</sup>, состоящий из множества не сообщающихся между собой стеклянных ячеек, непроницаемый для воды и водяных паров. Успешно используется в промышленности в области высоких температур, при теплоизоляции труб, резервуаров и технологического оборудования.

Первый опыт строительства с применением пеностекла принадлежит Канаде (1946 г, теплоизоляционная прослойка в стенах). Сейчас пеностекло применяют при изоляции плоских, в том числе эксплуатируемых кровель, подвалов, перекрытий, фундаментов. Изготовлением пеностекла на территории СНГ занимаются не менее 12 промышленных предприятий. Заводы (табл. 4), функционирующие в РФ, производят гранулят и блоки. Некоторые проекты, анонсированные до кризиса, находятся в замороженном состоянии: ЗАО СТЭС (Владимир), ООО «Экран» под Н. Новгородом, Diamix (Ульяновск).

Блоки и фасонные изделия из пеностекла Foamglass поставяет международный концерн PittsburghCorning; блоки из стекла экономкласса и пенокрошку — ОАО «Гомельстекло»; блоки ДИЕЛ НИО поставяются из Китая. В настоящее время импорт пеностекла находится на уровне 40—45 тыс. м<sup>3</sup> в год.

## Динамика производства пеностекла

Производитель	Мощность, тыс. м <sup>3</sup>	Производство по годам, тыс. м <sup>3</sup>				
		2009	2010	2011	2012	2013
Пеностек МО	20	0	4	5	10	12
Пеноситал Пермь	16	2	0	10	12	14
Сталькон-Д (Saifax), Московская область	8	0	2	3	4	5
Модис, Рыбинск	6	0	1	2	3	4

Таблица 5

## Технические данные минизаводов пенобетона

Технология	Производи- тельность, м <sup>3</sup> /ч	Расход элек- троэнергии, кВт/м <sup>3</sup>	Масса обо- рудования, т
Механоактивация и турбулентное пенообразование (ВНИИСТРОМ)	4,0—10,0	16,0—30,0	5,3
Сухая минерализация (МГСУ)	4,0—6,0	14,5	от 7,5
Героторные механизмы (ЦНКБ, установка УПТБ)	1,6—4,0	10,0	1,0—4,0
Технология ЭНПФ «Рубин»	1,0—4,0	от 5	0,5—5,0
Баротехнология (АОЗТ Строминно- центр «СИС», «УПМБ»)	2,0—8,0	1,5—4,0	0,2—7,5
Модернизированная баротехнология (ООО «Экостройматериалы»)	1,2—5,0	15,7	0,2—7,0

Таблица 6

## Характеристики пенобетона

Технология	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Морозо- стойкость	Теплопро- водность, Вт/(м·К)
ВНИИСТРОМ	300—1200		ГОСТ 21520-89	ГОСТ 5242-76
МГСУ – МИСИ	300—900	0,5—5,0	15—35	0,090—0,25
ЦНКБ	250—1300	0,5—15,0	15—35	0,050—0,38
НПФ «Рубин»	400—1200	0,5—10,0	15—35	0,095—0,35
АОЗТ «Строминноцентр»	400—1000	0,5—5,0	15—35	0,095—0,25
ООО «Экостройматериалы»	250—1000	0,35—5,0	25—35	0,055—0,25

Производство *гранулированного пеностекла* (Poraver, КГПС НЕОПОРМ, ПЕНОСИТАЛ, ГРАСТЕК) менее зависит от состава стекла и совершенства теплотехнических агрегатов. Гранулированное пеностекло несколько уступает в теплотехнической эффективности блочному, однако обладая существенно меньшей ценой, пользуется определенным спросом при производстве легких бетонов, выполнении теплоизоляционных засыпок и изготовлении геометрически сложных изделий.

**Неавтоклавные теплоизоляционные ячеистые бетоны.** Производство организовано практически во всех регионах России. Этому способствуют простота технологии, доступность сырьевых материалов и малогабаритных мобильных установок, относительно невысокая стоимость и хорошие теплоизоляционные свойства. В настоящее время действуют около 40 заводов, цехов и установок, более 20 строятся или расширяются (табл. 5, 6). Общим недостатком неавтоклавных газо- и пенобетонов является их высокая усадка и неоднородность свойств.

Примером использования теплоизоляционного пенобетона в мировой практике является опыт немецкой фирмы «НЕОПОР». Эта фирма с 1975 г. внедрила свою технологию пенобетона в 40 странах мира. Эта и подобная ей технологии получили распространение в таких странах мира, как Германия, Швеция, США, Южная Корея и др.

НЕОПОР-бетон — легкий ячеистый бетон, полученный в результате твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пены, образованной с использованием протеинового пеноконцентрата. Заданная плотность бетона достигается изменением соотношения компонентов.

**Пенополистиролбетоны.** Являются композиционными материалами и по своему функциональному назначению близки к ячеистым бетонам (табл. 7). Гранулы вспененного (подвспененного) полистирола выполняют функции легкого заполнителя. Минеральная матрица может состоять из портландцемента,

Таблица 7

**Характеристика пенополистиролбетонов**

Показатель	Пенополистиролбетон				
	BASF AG (Германия)	RASTRA (Австрия)	ВНИИ- Железобетон	МГСУ – МИСИ	ДИП- БЕТОН
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	200—1400	300—1200	200—1400	200—400	300—900
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,08—0,23	0,08—0,21	0,07—0,09	0,06—0,09	0,06—0,15
Прочность при сжатии, МПа	0,5—7,0	0,5—7,0	0,5—7,0	0,5—7,0	1,0—5,0
Прочность при изгибе, МПа	0,1—2,2	0,1—2,1	0,1—2,5	0,1—1,5	0,1—1,7

цементно-песчаной (в том числе и на пористых песках) смеси, гипса; в некоторых случаях используют полимерные или поризующие добавки. Известны разработки концерна «BASF AG», системы «Rastra» (Австрия) и «Юникон» (ВНИИЖелезобетон), предложения НИИЖБ и МГСУ – МИСИ («самоуплотняющиеся массы»), компании БИРСС.

В АО «Теплопроект» проведены исследования и получены положительные результаты по композиционному материалу, получившему условное название ДИПБЕТОН. Он представляет собой композицию, состоящую из пенобетона, образующего непрерывный каркас, и гранул пенополистирола, заполняющих заданный объем в каркасе.

#### 1.1.4. Автоклавные ячеистые бетоны

Производство автоклавных теплоизоляционно-конструкционных ячеистых бетонов сконцентрировано в европейской части России (табл. 8). Это связано с историческими предпосылками, а также с преобладающими темпами строительства. По данным на конец 2011 г. на долю Центрального округа приходилось 43,3 % объема производимого в стране газобетона; Приволжского ФО — 17,6 %; Северо-Западного — 15,3 %; Уральского — 10,5 %; Южного и Сибирского соответственно 6,8 и 6,4 %. Среди производителей неавтоклавного газобетона (гидратационного твердения) следует отметить предприятие «Донской газобетон» (Ростовская область) и компанию Biltex в г. Волжском Волгоградской области.

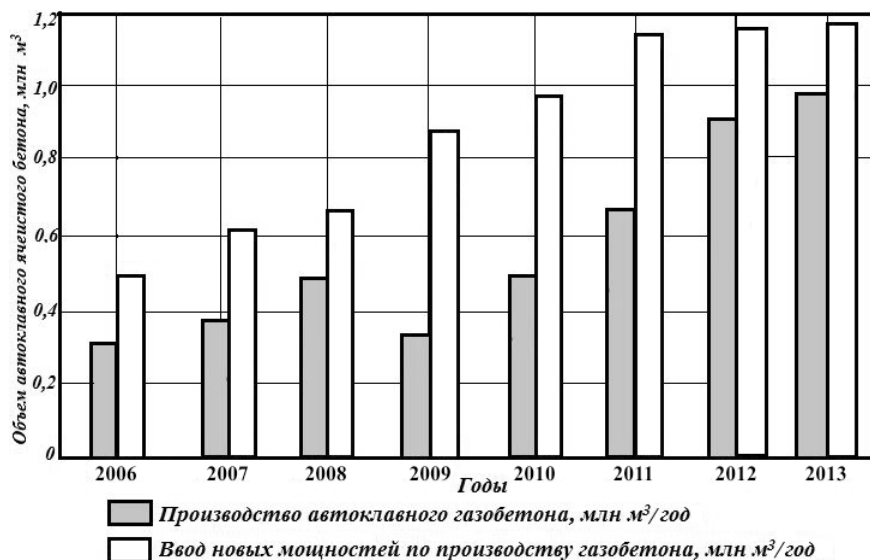


Рис. 2. Выпуск автоклавного газобетона и суммарная мощность предприятий по годам

## Ввод мощностей автоклавного ячеистого бетона (2007—2012 гг.)

Предприятие	Автоматизированные линии компании	Мощность (проектная/2011 г.), тыс. м <sup>3</sup>	Регион, город, год введения
ОАО «Лискинский газосиликат»	Wehrhahn	300/162	ЦФО, Воронежская область, 2007
ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр Можайск» (YTONG)	YTONG; Hebel	350/284	ЦФО, МО, 2008
«КДСМ» (MASIX)	Masa-Henke	200/140	ЮФО, Ростов-на-Дону, 2008
Завод автоклавного газобетона	Wehrhahn	730/188	УФО, Челябинск, 2008
ООО «Вармит»	Wehrhahn	120/80	СФО, Омск, 2008
ЗАО «Аэробел»	Masa-Henke	378/290	ЦФО, Белгород, 2009
МППК «ГРАСС»	Wehrhahn; HESS AAC Systems B.V.	500/267	ЦФО, Малоярославец, 2009
Н+Н	Wehrhahn, Lachenmeier, Scholz	400/300	СЗФО, ЛО, 2009
«ЕвроАэроБетон»	Wehrhahn	165/110	СЗФО, ЛО, 2009
ЗАО «КСМ» (Завод «Поревит»)	«Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH»	300/198	УФО, Тюменская область, 2009
ООО «КСМК» («ВКБлок»)	HESS AAC Systems B.V.	300/220	ЮФО, Краснодарский край, 2010
ООО «Волжский ЗСМ» (Bikton)	«Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH»	360/200	ПФО, Марий-Эл, 2010
Завод автоклавного газобетона «Теплон»	WEHRHAHN	200/138	ПФО, Ульяновск, 2010
ЗАО «Клинцовский СЗ» (EuroBlock)	SOLBET	200	ЦФО, Клинцы, 2010
Завод «Главстрой-Усть-Лабинск»	Wehrhahn	420/30	ЮФО, Краснодарский край, 2011
Дмитровский ЗГИ (Aerostone)	Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH»	500	ЦФО, Дмитров, 2011
ОАО «Железобетон» (Bonolit)	HESS AAC Systems B.V.	200	ЦФО, Ногинск, 2011

В течение последних шести лет введены новые современные производства, основанные на применении технологий таких фирм, как HEBEL, Wehrhahn, YTONG, HESS AAC Systems B.V., «Masa-Henke Maschinenfabrik GmbH». Произведенные на этих линиях газобетонные блоки имеют отличное качество и высокоточные геометрические размеры, что позволяет вести кладку стен со швами минимальной величины. В основном газобетонные блоки являются конструкционным материалом с плотностью D500, D600. Из таких блоков можно построить дом до 4-х этажей. Газосиликатные блоки плотностью менее 400 кг/м<sup>3</sup> в большинстве случаев используют как теплоизоляционные материалы или для возведения ненесущих стен. Блоки YTONG D400 являются теплоизоляционно-конструкционным материалом.

Сегмент ячеистых бетонов в кризис пострадал в наименьшей степени среди всех стеновых строительных материалов. Производство в посткризисный период восстанавливалось быстро в соответствии с динамикой спроса на эти материалы (рис. 2). Ввод новых мощностей значительно опережает возможности их реализации в строительстве. По итогам 2013 г., например, доля реализуемых мощностей в РФ составила 61,4 %. Это означает, в частности, увеличение срока окупаемости капитальных вложений и снижение рентабельности производства.

## 1.2. Свойства высокопористых материалов

### 1.2.1. Функциональные свойства

*Теплопроводность* — способность материала передавать теплоту сквозь свою толщу от одной своей поверхности к другой в случае, если температура у этих поверхностей разная. Теплопроводность характеризуется количеством теплоты, Дж, проходящей в течение 1 ч через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup>, при разности температур на поверхностях в 1 К (1 °С). Теплопроводность выражают в Вт/(м·К).

Метод определения теплопроводности установлен ГОСТ 7076–87. Теплопроводность плоских образцов вычисляют по формуле

$$\lambda = \frac{q\delta}{t_1 - t_2},$$

где  $q$  — количество теплоты, проходящей через образец площадью 1 м<sup>2</sup> за 1 ч в направлении, перпендикулярном его поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta$  — толщина образца, м;  $t_1, t_2$  — температуры соответственно верхней и нижней поверхностей образца, °С.

Теплопроводность тел, находящихся в различных агрегатных состояниях, при прочих равных условиях увеличивается с повышением плотности, уменьшается с увеличением молекулярной массы; возрастает с повышением температуры кипения или плавления, становится меньше с увеличением числа атомов в молекуле у кристаллических тел и больше у жидкостей и газов.

При увлажнении теплозащитные свойства теплоизоляционных материалов резко ухудшаются, так как вода, замещающая в порах воздух, имеет теплопроводность почти в 23 раза выше, чем у воздуха. Теплопроводность теплоизоляционных материалов возрастает с повышением температуры, особенно это характерно для материалов с крупными порами.

*Теплоемкость* — свойство материала поглощать тепло при повышении температуры. Показателем теплоемкости является удельная теплоемкость  $c$ , характеризующая количество тепла, которое необходимо сообщить 1 кг данного вещества для повышения его температуры на  $1^\circ$ . Размерность удельной теплоемкости Дж/(кг·°C). Соотношение между единицами теплоемкости

$$1 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}) = 0,239 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot\text{град}),$$

или

$$1 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot\text{град}) = 4,187 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}).$$

Количество теплоты, Дж, поглощаемое 1 кг материала при нагревании на  $1^\circ\text{C}$ , называют удельной теплоемкостью  $c$ , Дж/кг·K, и вычисляют по формуле

$$c = \frac{Q}{m(t - t_1)},$$

где  $Q$  — количество поглощенной материалом теплоты, Дж;  $m$  — масса нагреваемого материала, кг;  $t_1$ ,  $t$  — начальная и конечная температура нагреваемого материала, °C.

Для большинства минеральных теплоизоляционных материалов теплоемкость колеблется в пределах 0,75—1,23 кДж/(кг·°C). Удельная теплоемкость материалов зависит от их природы и в незначительной степени от объема пористости, что объясняется близкими абсолютными значениями удельной теплоемкости твердой фазы и воздуха. Например, теплоемкости воздуха и плотного бетона равны соответственно 1,04 и 0,92 кДж/(кг·°C). Материалы органического происхождения имеют большую удельную теплоемкость, чем минерального. У древесноволокнистых плит теплоемкость в 3,2 раза, у пенопластов в 1,8 раза больше, чем у минераловатных изделий.

*Температуропроводность материалов*  $a$ , м<sup>2</sup>/с характеризует скорость распространения (выравнивания) температуры в различных точках среды. Чем больше будет значение  $a$ , тем скорее все точки тела при нагревании или остывании достигнут одинаковой температуры. Температуропроводность стали составляет  $2,1 \cdot 10^{-5}$ , стекла —  $0,048 \cdot 10^{-5}$ , минеральной ваты —  $0,055 \cdot 10^{-5}$ , воздуха —  $1,8 \cdot 10^{-5}$ , м<sup>2</sup>/с. Температуропроводность рассчитывают по уравнению

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}.$$



*Температуростойкость* (предельная температура применения) — способность материала сохранять физические свойства (структуру, прочность, плотность, форму) без существенных структурных изменений при температурных воздействиях. Температуростойкость определяет наивысшую допустимую температуру применения теплоизоляционных материалов. Для различных ТИМ температуростойкость, °С, следующая:

Вспученный вермикулит .....	1100
Вспученный перлит .....	875
Каменная вата .....	900—1000
Керамические волокна .....	1100—1300
Минеральная вата .....	500—800
Минераловатные изделия на связующих .....	60—450
Пеностекло .....	500—700
Пенопласты .....	70—150
Стекловолоконная вата .....	180—450
Ячеистые бетоны .....	400—600

Теплоизоляционные материалы должны обладать также достаточной *термостойкостью* — способностью материала выдерживать резкие колебания температуры без существенного нарушения его структуры. Термостойкость выражается числом теплосмен (последовательных быстрых нагревов и охлаждений), при которых материал не разрушился.

*Паропроницаемость материала* — величина, численно равная количеству водяного пара в миллиграммах, которое проходит за 1 ч через слой материала площадью 1 м<sup>2</sup> и толщиной 1 м при условии, что температура воздуха у противоположных сторон слоя одинакова, а разность парциального давления водяного пара равняется 1 Па.

*Сопротивление паропроницанию изделия* — величина, численно равная разности парциального давления водяного пара в паскалях у противоположных сторон изделия с плоскопараллельными сторонами, при которой через площадь изделия, равную 1 м<sup>2</sup>, за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон слоя.

### 1.2.2. Строительно-эксплуатационные свойства

**Средняя плотность.** Средняя плотность — величина, равная отношению массы (кг) материала (изделия) в естественном состоянии (вместе с имеющимися в нем порами и пустотами) ко всему занимаемому им объему (м):

$$\rho = m / V.$$

Различают среднюю плотность ТИМ в сухом и естественно-влажном состоянии. Плотность материала (изделия) определяют после предварительного высушивания до постоянной массы или в состоянии естественной

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)